

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт – Физико-технический

Направление – Ядерные физика и технологии

Кафедра – Электроника и автоматика физических установок

Специальность – Электроника и автоматика физических установок

**ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ**

Тема работы				
<b>РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОЙ СИСТЕМЫ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА ВЕЩЕСТВ С НИЗКОЙ МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТЬЮ С ЧАСТОТОЙ ТОКА ДО 1 МГц</b>				

УДК 004.31:004.728.8

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0712	Журавлев И.А.		

Руководитель

Должность	ФИО	Подпись	Дата
Ассистент	Курочкин В.А.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Меньшикова Е.В.	канд. филос. наук, доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Акимов Д.В.			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭАФУ	Горюнов А.Г.	д-р техн. наук, доцент		

Томск – 2017 г.

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Универсальные компетенции</i>	
Р1	Представлять современную картину мира на основе целостной системы естественнонаучных и математических знаний, а также культурных ценностей; понимать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности, защите интересов личности, общества и государства; быть готовым к анализу социально-значимых процессов и явлений, применять основные положения и методы гуманитарных, социальных и экономических наук при организации работы в организации, к осуществлению воспитательной и образовательной деятельности в сфере публичной и частной жизни.
Р2	Обладать способностями: действовать в соответствии с Конституцией РФ, исполнять свой гражданский и профессиональный долг, руководствуясь принципами законности и патриотизма, правилами и положениями, установленные законами и другими нормативными правовыми актами; к логическому мышлению, обобщению, анализу, прогнозированию, постановке исследовательских задач и выбору путей их достижения; понимать основы национальной и военной безопасности РФ; работать в многонациональном коллективе; формировать цели команды, применять методы конструктивного разрешения конфликтных ситуаций; использовать на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и научно-производственных работ.

P3	Самостоятельно, методически правильно применять методы самостоятельного физического воспитания для повышения адаптационных резервов организма и укрепления здоровья, готовностью к достижению и поддержанию должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
P4	Свободно владеть литературной и деловой письменной и устной речью на русском языке, навыками публичной и научной речи. Уметь создавать и редактировать тексты профессионального назначения, владеть одним из иностранных языков как средством делового общения.
P5	Находить организационно-управленческие решения в нестандартных ситуациях и нести за них ответственность; быть готовым к принятию ответственности за свои решения в рамках профессиональной компетенции, принимать решения в нестандартных условиях обстановки и организовывать его выполнение, самостоятельно действовать в пределах предоставленных прав; самостоятельно применять методы и средства познания, обучения и самоконтроля для приобретения новых знаний и умений, в том числе в новых областях, непосредственно не связанных со сферой деятельности, развития социальных и профессиональных компетенций.
P6	Применять основные законы естественнонаучных дисциплин, математический аппарат, вычислительную технику, современные методы исследований процессов и объектов для формализации, анализа и выработки решения профессиональных задач.
<b><i>Профессиональные компетенции</i></b>	
P7	Уметь самостоятельно повышать уровень знаний в области

	<p>профессиональной деятельности, приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности новые знания и умения; использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт, методы научно-исследовательской и практической деятельности, современные компьютерные технологии и базы данных в своей предметной области; работать с информацией в глобальных компьютерных сетях; оценивать перспективы развития АСУ и АСНИ физических установок (вооружения и техники, процессов и аппаратов атомной промышленности и энергетики), использовать современные достижения в научно-исследовательских работах.</p>
P8	<p>Применять знания о процессах в ядерных энергетических и физических установках, и о технологических процессах ядерного топливного цикла используя методы математического моделирования отдельных стадий и всего процесса для разработки АСУ ТП и АСНИ с применением пакетов автоматизированного проектирования и исследований.</p>
P9	<p>Использовать знания о протекающих процессах в ядерных энергетических установках, аппаратах производств ядерного топливного цикла, теории и практики АСУ ТП, при проектировании, настройке, наладке, испытаниях и эксплуатации современного оборудования, информационного, организационного, математического и программного обеспечения, специальных технических средств, сооружений, объектов и их систем; организовать эксплуатацию физических установок (вооружения и техники, процессов и аппаратов атомной промышленности и энергетики), современного оборудования и приборов с учетом требований руководящих и</p>

	нормативных документов; быть готовым к освоению новых образцов физических установок, составлению инструкций по эксплуатации оборудования и программ испытаний.
P10	Использовать технические средства и информационные технологии, проводить предварительное технико-экономического обоснования проектных расчетов устройств и узлов приборов и установок, расчет, концептуальную и проектную проработку программно-технических средств АСУ ТП и АСНИ, применять методы оптимизации, анализа вариантов, поиска решения многокритериальных задач с учетом неопределенностей объекта управления, разрабатывать способы применения программно-технических средств АСУ ТП и АСНИ, решать инженерно-физические и экономические задачи, применяя знания теории и практики АСУ, включающее математическое, информационное и техническое обеспечения, для проектирования, испытания, внедрения и эксплуатации АСУ ТП и АСНИ.
P11	Понимать сущность и значение информации в развитии современного общества, соблюдать основные требования безопасности и защиты государственной тайны; выполнять мероприятия по восстановлению работоспособности физических установок (вооружения и техники, процессов и аппаратов атомной промышленности и энергетики) при возникновении аварийных ситуаций, разрабатывать методы уменьшения риска их возникновения; проводить анализ и оценку обстановки для принятия решения в случае возникновения аварийных ситуаций, экологическую безопасность, нормы и правило производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности.

P12	<p>Разрабатывать проекты нормативных и методических материалов, технических условий, стандартов и технических описаний средств АСУ ТП и АСНИ, регламентирующих работу в сфере профессиональной деятельности; осуществлять разработку технического задания, расчет, проектную проработку современных устройств и узлов приборов, установок (образцов вооружения, программно-технических средств АСУ ТП и АСНИ), использовать знания методов анализа эколого-экономической эффективности при проектировании и реализации проектов.</p>
P13	<p>Использовать в профессиональной деятельности нормативные правовые акты в области защиты государственной тайны, интеллектуальной собственности, авторского права и в других областях; осуществлять поиск, изучение, обобщение и систематизацию научно-технической информации, нормативных и методических материалов в сфере своей профессиональной деятельности.</p>
P14	<p>Проявлять и активно применять способность к организации и управлению работой коллектива, в том числе: находить и принять управленческие решения в сфере профессиональной деятельности; разрабатывать планы работы коллективов; контролировать соблюдение технологической дисциплины, обслуживания, технического оснащения, размещения технологического оборудования; организовывать учет и сохранность физических установок (вооружения и техники), соблюдение требований безопасности при эксплуатации; использовать основные методы защиты персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий.</p>

P15	<p>Демонстрировать способность к осуществлению и анализу научно-исследовательских, технологических и пуско-наладочных работ, разработке планов и программ их проведения, включая ядерно-физические эксперименты, выбору методов и средств решения новых задач с применением современных электронных устройств, представлению результатов исследований и формулированию практических рекомендаций их использования в формах научно-технических отчетов, обзоров, публикаций по результатам выполненных работ; выполнять полный объем работ, связанных с техническим обслуживанием физических установок с учетом требований руководящих и нормативных документов.</p>
-----	---

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт – Физико-технический  
Направление – Ядерные физика и технологии  
Кафедра – Электроника и автоматика физических установок  
Специальность – Электроника и автоматика физических установок

**УТВЕРЖДАЮ**  
Зав. кафедрой ЭАФУ ФТИ  
\_\_\_\_\_ А.Г. Горюнов  
«12» октября 2016 г.

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

**В форме:**

Дипломного проекта
--------------------

**Студенту:**

Группа	ФИО
0712	Журавлев И.А.

**Тема работы:**

<b>РАЗРАБОТКА</b>	<b>ЛАБОРАТОРНОГО</b>	<b>СТЕНДА</b>	<b>С</b>
<b>ДИСТАНЦИОНЦИОННЫМ ДОСТУПОМ ЧЕРЕЗ СЕТЬ ИНТЕРНЕТ</b>			
<b>Утверждена приказом директора ФТИ</b>		от 23.11.2017 № 9128/с	

<b>Дата сдачи студентом выполненной работы</b>	23 января 2017 г.
--	-------------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Лабораторная система индукционного нагрева должна работать на резонансных частотах до 1 МГц. В качестве генератора ШИМ-сигнала и обмена данными с ПК должен использоваться микроконтроллер. Пользователь должен иметь возможность задавать параметры ШИМ-сигнала с ПК и отслеживать измеряемые параметры в режиме реального времени. Система должна иметь экстремальный регулятор для удержания резонанса токов.
---------------------------------	--



<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	Аналитический обзор существующих систем индукционного нагрева, выбор электрической схемы питания для нагревательного индуктора, выбор датчика тока, выбор итоговой электрической схемы питания для нагревательного индуктора, разработка алгоритма работы экстремального регулятора, разработка программы для микроконтроллера на языке программирования Си, разработка прикладного ПО для управления лабораторной системы индукционного нагрева, тестирование и отладка системы.
<b>Перечень графического материала</b>	Принципиальная электрическая схема, перечень элементов, блок-схема алгоритма работы экстремального регулятора.
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	доцент, канд. филос. наук Меньшикова Е.В.
Социальная ответственность	ассистент, Акимов Д.В.

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	12 октября 2016 г.
---	--------------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Курочкин В.А.			12.10.16

**Задание принял к исполнению студент**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0712	Журавлев И.А.		12.10.16

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 174 с., 85 рис., 30 табл., 21 источник, 6 приложений, 4 л. графич. материала.

ИНДУКТОР, СИСТЕМА, АНАЛИЗ, ПРОГРАММИРОВАНИЕ, МИКРОКОНТРОЛЛЕР, ЛАБОРАТОРНАЯ СИСТЕМА, УПРАВЛЕНИЕ, ЭЛЕКТРОНИКА, ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ, ИНТЕРФЕЙС, ИНДУКЦИОННЫЙ НАГРЕВ, ЭКСТРЕМАЛЬНЫЙ РЕГУЛЯТОР

Выпускная квалификационная работа посвящена разработке лабораторной системы индукционного нагрева.

Цель работы – разработка лабораторной системы индукционного нагрева веществ с низкой магнитной проницаемостью с частотой тока до 1 МГц.

В результате выполнения выпускной квалификационной работы разработана лабораторная система индукционного нагрева веществ с низкой магнитной проницаемостью с частотой тока до 1 МГц. Разработанный стенд будет внедрен сотрудниками кафедры ЭАФУ НИТПУ в обучающие занятия для студентов с целью изучения работы и свойств индукционного нагрева, а также для проявления своих профессиональных навыков в области программирования, электроники и микропроцессорной технике для дальнейшей модификации системы.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	13
1 Анализ существующих систем индукционного нагрева	14
2 Выбор электрической схемы питания для нагревательного индуктора	19
2.1 Математическое моделирование электрических схем	20
2.1.1 Электрическая схема на двух полевых транзисторах	20
2.1.2 Электрическая схема на оптопаре и полевом транзисторе	32
2.1.3 Электрическая схема на операционном усилителе, драйвере и полевом транзисторе	42
2.1.4 Электрическая схема на оптопаре, драйвере и полевом транзисторе	55
2.2 Результаты выбора электрической схемы питания для нагревательного индуктора	63
3 Выбор датчика тока	66
3.1 Датчик тока ACS712	67
3.2 Датчик тока GY-712	69
3.3 Датчик тока MP592	71
3.4 Анализ датчиков тока	73
4 Исходная электрическая схема для питания нагревательного индуктора	76
4.1 Силовая схема	77
4.2 Выбор элемента для генерации ШИМ-сигнала	81
4.3 Преобразователь интерфейсов передачи данных USB/USART	84
4.4 Подключение датчика тока	86

4.5	Выбор реле для замыкания/размыкания цепи питания нагревательного индуктора	88
5	Разработка алгоритма работы экстремального регулятора	91
6	Разработка программы для микроконтроллера	98
7	Прикладное программное обеспечения для лабораторной системы индукционного нагрева	104
8	Тестирование и отладка лабораторной системы индукционного нагрева	109
9	Социальная ответственность	124
9.3.1	Эргономика и организация рабочего места	129
9.3.2	Мероприятия по выполнению норм естественного и искусственного освещения	129
9.3.3	Мероприятия по борьбе с производственным шумом	132
9.3.4	Мероприятия по радиационной безопасности	133
9.3.5	Мероприятия по выполнению норм вентиляции и отопления	135
9.3.6	Мероприятия по пожарной безопасности	135
10	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсоснабжение	137
10.1	Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсоснабжения	137
10.2	SWOT-анализ	140
10.3	Оценка готовности проекта к коммерциализации	141
10.4	Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования	142
10.5	Инициация проекта	143
10.6	План проекта	145
10.7	Бюджет разрабатываемой системы	147

10.8 Реестр рисков проекта	150
10.9 Оценка сравнительной эффективности разрабатываемого проекта	151
Заключение	155
Список использованных источников	157
Приложение А. ФЮРА.421231.007ЭЗ	159
Приложение Б. ФЮРА.421231.007ПЭЗ	162
Приложение В. Блок-схема алгоритма работы экстремального регулятора	165
Приложение Г. Текст основной программы для микроконтроллера	167
Приложение Д. Текст прикладного ПО для управления лабораторной системой индукционного нагрева	171
Приложение Е. Презентация	181

## ВВЕДЕНИЕ

Целью работы является разработка лабораторной системы индукционного нагрева веществ с низкой магнитной проницаемостью с частотой тока до 1 МГц.

Данная лабораторная система индукционного нагрева необходима в качестве учебного пособия для изучения свойств индукционного нагрева. Также данная разработка покажет, что управлять нагревательным индуктором можно и с помощью простой схемы на одном силовом транзисторе. В дальнейшем студенты будут модифицировать данную систему и делать ее лучше. Пользователи смогут управлять системой с помощью прикладного программного обеспечения (ПО), которое было разработано специально для этого. С помощью данного ПО пользователь сможет не только задавать необходимые параметры для генерируемого ШИМ-сигнала, но и наблюдать в режиме реального времени измеряемые параметры системы. Данное приложение облегчит взаимодействие между человеком и объектом управления – нагревательным индуктором.

Актуальностью данной работы в том, чтобы не использовать дорогостоящую установку индукционного нагрева в качестве лабораторной системы. Разработанная система будет дешевым лабораторным пособием для студентов для изучения работы и свойств индукционного нагревателя. Также, применив необходимые знания и умения по пройденным дисциплинам, таким как электроника, электротехника, теория автоматического управления, информатика и микропроцессорные системы, студенты смогут модифицировать данную лабораторную систему.

					ФЮРА.421231.007ПЗ							
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата								
Разраб.		Журавлев			Введение			Лит.	Лист	Листов		
Провер.		Курочкин										
Н. Контр.		Ефремов						ТПУ			ФТИ	
Утверд.		Горюнов						Группа			0712	

## 1 Анализ существующих систем индукционного нагрева

Так как в данной выпускной квалификационной работе ведется разработка лабораторной системы индукционного нагрева веществ с низкой магнитной проницаемостью с частотой тока до 1 МГц, то необходимо провести анализ существующих решений, которые существуют в настоящее время. Как и во всех системах индукционного нагрева главным элементом, с помощью которого и происходит нагрев, является нагревательный индуктор.

Нагревательный индуктор – это устройство, представляющее собой один или несколько витков проводника, в котором с помощью мощного источника переменного тока создаются электрические колебания высокой частоты (рисунок 1). При подключении данного генератора к индуктору, вокруг последнего возникает интенсивное электромагнитное излучение, которое поглощается заготовкой, которую помещают в сам индуктор, и разогревает ее. Таким образом, система индуктор-заготовка представляет собой бессердечниковый трансформатор, где индуктор является первичной обмоткой, а заготовка – вторичной, замкнутой накоротко [1].

					<i>ФЮРА.421231.007ПЗ</i>		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>			
<i>Разраб.</i>		<i>Журавлев</i>			<i>Анализ существующих систем индукционного нагрева</i>		
<i>Провер.</i>		<i>Курочкин</i>					
<i>Н. Контр.</i>		<i>Ефремов</i>					
<i>Утверд.</i>		<i>Горюнов</i>					
						<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>
							<i>Листов</i>
						<i>ТПУ</i>	<i>ФТИ</i>
						<i>Группа</i>	<i>0712</i>



Рисунок 1 – Нагревательный индуктор

Для метода индукционного нагрева значение электромагнитной индукции состоит прежде всего в возможности передать электромагнитную энергию в нагревательный объект, не прибегая к контактам. Применение контактов значительно усложняет процесс и в ряде случаев приводит к невозможности его осуществления.

Нагревательные индукторы можно разделить на два типа по частоте:

- низкочастотные (не выше нескольких десятков кГц) – представляют собой устройство с большим числом витков, каждый из которых имеет большой диаметр. Данный тип нагревательных индукторов предназначен для разогрева или плавления крупных заготовок, например в индукционных печах;
- высокочастотные (от сотен кГц до 5 МГц) – представляют собой устройство с одним витком небольшого диаметра. Такой тип индуктора применяется для разогрева мелких деталей.

Так как индуктор сильно нагревается во время работы, так как сам поглощает собственное излучение, то его необходимо охлаждать. Для этого, в мощных установках нагревательный индуктор изготавливается из медных



трубок, охлаждаемых проточной водой. Также применяются специальные разбрызгиватели для охлаждения индуктора.

Не стоит забывать и про скин-эффект (поверхностный эффект), который возникает в системах индукционного нагрева. Данный эффект заключается в том, что если быстропеременный высокочастотный ток протекает по проводнику, то вихревые токи, индуцируемые в проводнике, препятствуют равномерному распределению плотности тока по поперечному сечению проводника – плотность тока на оси провода оказывается меньше, чем у его поверхности. Получается, что при частотах больше 10 МГц, ток почти целиком течет по поверхности провода. Также, ток, протекающий по поверхности проводника, имеет тоже направление, что и основной ток, что приводит к поверхностному эффекту. Чтобы избежать скин-эффекта на высоких частотах, индуктор изготавливают из большого числа тонких проводящих нитей, изолированных друг от друга эмалевым покрытием – литцендратом [2].

Все это была теория, чтобы немного ознакомить читающего с принципом работы нагревательного индуктора. Теперь же стоит упомянуть о применении индукционного нагрева. Применение индукционного нагрева:

- для закалки;
- для отпуска – процедура нагрева, в результате которой улучшаются ударная вязкость и пластичность заготовки;
- для пайки;
- для сушки клеевых составов;
- для сварки;
- для отжига;
- для плавки и т.д.

На сегодняшний день существует множество систем индукционного нагрева как низкочастотных до 300 кГц, так и высокочастотных, где частота выше 300 кГц и до 2 МГц. Данные установки имеют большие мощности от 3 кВт до 500 кВт. Широко применяются на производстве в качестве плавки стали и чугуна, для формирования глубокого нагрева стандартных металлических

деталей, для нагрева металлических изделий для пластической деформации, для термообработки, пайки, для сварки твердотельных зубчатых механизмов и т.д.

Ниже приведена таблица нескольких систем индукционного нагрева различных стран производителей, которые способны работать с частотой тока до 1 МГц и выше (таблица 1). Стоимость данных установок варьируется от 1500000 до 2500000 рублей [3].

Таблица 1 – Существующие решения систем индукционного нагрева от различных стран производителей с частотой тока до 1 МГц и выше

Модель	Мощность, кВт	Входное напряжение, В	Частота, кГц	Страна производитель
HF-15	15	220	30-100	Китай
SHF-5	5	220	1100-2000	Китай
ProHeat 35	35	400-460 3-х фазной сети переменного тока 50/60 Гц	5-35	США
HeatLine CHC	35	220	1-500	Германия
УИН-402- 25-001	25	220/380	25-35	Россия
СВЧ-6АВ	6	220	600-1200	Россия
СВЧ-5АВ	5	220	500-1100	Россия

Как видно из таблицы 1 в развитых странах изготавливаются системы индукционного нагрева с частотой тока до 1 МГц и выше. Данные аппараты имеют высокое КПД не менее 95 % и способны стабильно работать продолжительное время. Автоматически подстраивают частоту задающего сигнала под любой индуктор, возможность регулировки мощности и времени нагрева.

Из проведенного анализа существующих решений систем индукционного

нагрева имеются серьезные продукты, которые обладают не только превосходной и стабильной работой, но и экономичностью и простотой эксплуатации. Однако стоимость данных установок очень высока и превышает сотни тысяч рублей. Также диапазон частот ограничен.

Исходя из этого было решено разработать лабораторную систему индукционного нагрева веществ с низкой магнитной проницаемостью с частотой тока до 1 МГц с упрощенной схемой питания нагревательного индуктора, наименьшими экономическими затратами, с экстремальным регулятором на микроконтроллере, с изменением частоты задающего сигнала от 1 кГц до 1 МГц, способностью управлять параметрами с персонального компьютера (ПК) задающего ШИМ-сигнала и отображать измеряемые параметры системы в режиме реального времени с помощью прикладного программного обеспечения (ПО). Также данная система создается для изучения индукционного нагрева, процесса управления нагревательным объектом, модификации схемы питания и прикладного ПО и т.д., поэтому в дальнейшем все составляющие данной системы могут изменяться и совершенствоваться другими студентами с целью получения наилучших показателей работоспособности.

## 10 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсоснабжение

### 10.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсоснабжения

Данный анализ необходим для оценки конкурирующих разработок, существующих на рынке по отношению к разрабатываемой. Такой подход позволяет вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам при реализации разработки на рынке.

В данном анализе конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсоснабжения для разрабатываемой лабораторной системы индукционного нагрева, баллы которого по различным параметрам от 1 до 5 отображаются в колонке Бф таблицы 18, необходимо сравнить похожую, уже существующую на рынке, установку с разрабатываемой. Баллы уже существующей на рынке подобной установки отображаются от 1 до 5 в колонке Бк таблицы 1.

В качестве Бк был взят существующий уже в промышленности система индукционного нагрева для металлических заготовок работающих на частоте 450 кГц. Данная установка также обладает регулятором частоты задающего сигнала для нахождения в резонансе, однако данный регулятор является сложным в конструкции, что влечет за собой простой установки при выходе какой-то отдельной детали из строя. Также данная система работает в диапазоне частот от 500 кГц до 2 МГц. Однако, данная система индукционного нагрева работает на больших мощностях, в отличие от разрабатываемой, которая разрабатывалась в качестве лабораторного стенда для изучения процессов. Примерная стоимость такой установки 1500000 рублей.

					ФЮРА.421231.007ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.	Журавлев				Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Лит.	Лист	Листов
Провер.	Курочкин							
Консульт	Меньшикова					ТПУ ФТИ		
Н. Контр.	Ефремов					Группа 0712		
Утверд.	Горюнов							

Конкурирующая система индукционного нагрева представляет собой нагревательный индуктор и схема его питания, подачи сигнала с необходимой частотой и напряжением. Данная установка очень громоздка и ее сложно транспортировать из одного здания в другое. Так же схема питания представляет собой сложную структуру, из-за которой производить ремонт и заменять необходимые детали очень сложно. Также существующая на рынке система не обладает способностью работать совместно с компьютером, что усложняет некоторые операции.

Таблица 18 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к</sub>
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
Повышение производительности труда пользователя	0,1	5	5	0,5	0,5
Удобство в эксплуатации	0,1	4	3	0,4	0,3
Надежность	0,1	4	4	0,4	0,4
Безопасность	0,1	5	5	0,5	0,5
Потребность в ресурсах памяти	0,1	5	1	0,5	0,1
Простота эксплуатации	0,1	4	3	0,4	0,3
Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,1	5	1	0,5	0,1
Экономические критерии оценки эффективности					
Конкурентоспособность продукта	0,1	4	4	0,4	0,4
Цена	0,1	5	2	0,5	0,2

Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	3	5	0,3	0,5
Итого	1	46	28	4,4	3,3

Из полученных результатов видно, что данная разработка способна конкурировать на рынке уже с имеющимся аналогом, применяющимся на производстве, с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения. Как видно из полученных оценочных данным разрабатываемая лабораторная система индукционного нагрева имеет удобство в эксплуатации больше, чем существующий аналог Б<sub>к</sub>, а следовательно удобство в замене элементов данной системы, способность их быстрой замены повышает ресурсосбережение. Также это дает прирост в производительности труд, если использовать данную систему в промышленности, что повышает ресурсоэффективность. Возможность подключения в сеть ЭВМ дает возможность легко и просто управлять параметрами установки на удобном экране монитора персонального компьютера с использованием приятного для визуального восприятия интерфейсом. Также с помощью данного прикладного программного обеспечения можно наблюдать необходимые измеряемые параметры системы в режиме реального времени с помощью специальных графиков. С помощью сохраняемых данных об измерениях можно анализировать полученные характеристики системы и использовать результаты в дальнейшем. Таким образом. Разрабатываемая лабораторная система индукционного нагрева обладает повышенной ресурсоэффективностью и ресурсосбережением.

## 10.2 SWOT-анализ

SWOT-анализ представляет собой комплексный анализ для исследования внешней и внутренней среды разрабатываемого проекта. Данный анализ позволит выявить сильные и слабые стороны разрабатываемой лабораторной системы индукционного нагрева, выявить угрозы, а также возможности реализации данной системы на рынке (таблица 19).

Таблица 19 – SWOT-анализ

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b> С1. Повышение производительности труда. С2. Удобство в эксплуатации. С3. Низкая стоимость производства. С4. Взаимодействие с ЭВМ.	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b> Сл1. Возможен короткий срок эксплуатации. Сл2. Взаимодействие с ЭВМ. Сл3. Источник питания. Сл4. Простота изготовления.
<b>Возможности:</b> В1. Использование данного продукта в промышленности. В2. Использование данного продукта для обучающих целей. В3. Повышение стоимости конкурентных разработок. В4. Возможность быстрой замены отдельных деталей данного продукта.	Используя возможности данной разработки заинтересовать различные производства произвести замену старого оборудования на новое с целью повышения производительности труда.	Произвести дополнительные исследования для устранения слабых сторон данной разработки.
<b>Угрозы:</b> У1. Отсутствие спроса на данный продукт. У2. Внезапный выход из строя. У3. Развитая конкуренция технологий производства. У4. Электромагнитное излучение.	Произвести реальные сравнения разрабатываемой системы с уже существующей и дополнить разработку необходимыми качествами и применить необходимые действия для ее реализации на рынке.	Дополнительное исследование электрических схем питания нагревательного индуктора для повышения надежности, экранирование от электромагнитного излучения, усовершенствование программного обеспечения и программы в микроконтроллере

Проведя данный SWOT-анализ можно заметить, что разрабатываемая лабораторная система индукционного нагрева может пригодиться не только для учебных и исследовательских целей, но также и возможность применить ее на производстве для увеличения производительности труда и других параметров производства.

### 10.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Данная оценка поможет определить степень готовности разрабатываемой лабораторной системы индукционного нагрева к коммерциализации и выяснить уровень необходимых собственных знаний для ее коммерциализации (таблица 20).

Таблица 20 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	3
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	3
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	2	1
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	1	2
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	4	4
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	3	2
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	1



9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	1	1
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	4
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	3	2
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	3	2
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	1	1
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	4	4
	ИТОГО БАЛЛОВ	40	35

Исходя из расчетов уровня имеющихся знаний у разработчика и степени проработанности научного проекта можно сказать, что готовность разрабатываемого проекта к коммерциализации средняя. Таким образом, перспектива реализации данной разработки на потребительском рынке является средней, что говорит о ее способности иметь спрос.

#### **10.4 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования**

При коммерциализации научно-технических разработок разработчик преследует определенную цель, которая во многом зависит от того, куда в последующем он намерен направить полученный коммерческий эффект.

Так как в данном случае разрабатывается лабораторная система индукционного нагрева для обучающих целей, то в качестве метода коммерциализации научных разработок наиболее подходящим является

передача интеллектуальной собственности кафедре. Далее данной разработкой смогут воспользоваться студенты для обучения или модернизации системы.

### **10.5 Инициация проекта**

В рамках инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат проекта. Вся необходимая информация закрепляется в уставе проекта. Компоненты устава проекта:

- Цели и результат проекта (необходимо привести информацию о заинтересованных сторонах проекта иерархии целей проекта и критериях достижения целей (таблицы 21 и 22));
- Организационная структура проекта (рабочая группа проекта, роль и функции каждого члена группы в данном проекте (таблица 23);
- Ограничения и допущения проекта (таблица 24).

Таблица 21 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидание заинтересованных сторон
Кафедра ЭАФУ	Возможность обучения студентов на данной лабораторной системе с целью приобретения необходимых знаний и навыков

Таблица 22 – Цели и результат проекта

Цель проекта:	Разработка лабораторной системы индукционного нагрева веществ с низкой магнитной проницаемостью с частотой тока до 1 МГц.
Ожидаемые результаты проекта:	Работоспособная лабораторная система индукционного нагрева.
Критерии приемки результата проекта:	Лабораторная система индукционного нагрева должна удовлетворять всем необходимым требованиям, предъявленных в самом начале разработки.
Требования к результату проекта:	Требование:
	Лабораторная система индукционного нагрева должна нагревать и раскалять металлические заготовки небольшой величины.
	В качестве задающего генератора ШИМ-сигнала должен использоваться микроконтроллер, генерирующий данный сигнал с определенной частотой (до 1 МГц) и шириной импульса.
	Измерение силы тока на входе колебательного контура для поддержания резонанса токов в колебательном контуре с нагревательным индуктором с помощью экстремального регулятора.
	На микроконтроллере должен быть реализован экстремальный регулятор частоты задающего генератора, для поддержания резонанса токов в колебательном контуре с нагревательным индуктором.
	Взаимодействие лабораторной нагревательной системы с прикладным программным обеспечением для ЭВМ.

Таблица 23 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час
1	Курочкин Владимир Александрович, НИ ТПУ, 10-ый корпус, 328 ауд, ассистент кафедры ЭАФУ	Научный руководитель	Помощь в разработке, проверка проделанной работы.	312
2	Журавлев Игорь Алексеевич, студент группы 0712 НИ ТПУ	Разработчик	Разработка лабораторной системы индукционного нагрева	330
ИТОГО:				642

Таблица 24 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/допущения
Бюджет проекта	5000
Источник финансирования	
Сроки проекта:	
Дата утверждения плана управления проектом	3 октября 2016 г.
Дата завершения проекта	23 декабря 2016 г.
Прочие ограничения и допущения	Ограничения по времени использования необходимой аппаратуры

## 10.6 План проекта

В рамках планирования проекта необходимо было построить календарный план график проведения работы. Разработка лабораторной системы индукционного нагрева заняла в общей сложности 3 месяца и 4-ый месяц был необходим для сдачи государственных экзаменов и защиты выпускной квалификационной работы.

Таблица 25 – Календарный план-график проведения работы

Вид работ	Исполнители	Тк, кал.дн.	Продолжительность выполнения работ				
			сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	январь
Постановка задачи	Руководитель	1	■				
Технико-экономическое обоснование	Дипломник	1					
Изучение литературы	Дипломник	3	■				
Составление структурной схемы	Дипломник	3	■				
	Руководитель						
Матмоделирование и выбор электрической принципиальной схемы для питания нагревательным индуктором	Дипломник	20	■	■			
	Руководитель		■	■			
Разработка регулятора	Дипломник	3		■			
	Руководитель			■			
Тестирование и отладка	Дипломник	10		■			
	Руководитель			■			
Разработка прикладного программного обеспечения для ЭВМ	Дипломник	5		■			
	Руководитель			■			
Тестирование системы	Дипломник	10		■			
	Руководитель			■			

## 10.7 Бюджет разрабатываемой системы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы (размер определяется Положением об оплате труда). Ниже в таблице 26 приведена группировка затрат разрабатываемой системы по статьям.

Таблица 26 – Группировка затрат по статьям

Вид работ	Статьи					
	Основная заработная плата, в руб.	Отчисления на соц. нужды (30 %), в руб.	Накладные расходы на электроэнергию, в руб.	Затраты на сырье, в руб.	Амортизация, в руб.	Итого плановая себестоимость
1	58578,9	17573,6	1364,1	3066	2125	82707,7
Итого:						82707,7

Далее была рассчитана средняя заработная плата руководителя проекта:

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{о}}} = \frac{22100 \cdot 10,4}{299} = 768,7 \text{ руб.}, \quad (21)$$

где  $Z_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня  $M=11,2$  месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней  $M=10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} \cdot (k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = 17000 \cdot (0,5 + 0,5) \cdot 1,3 = 22100 \text{ руб.}, \quad (22)$$

где  $Z_{\text{б}}$  – базовый оклад, руб.;

$k_{\text{пр}}$  – премиальный коэффициент;

$k_{\text{д}}$  – коэффициент доплат и надбавок;

$k_{\text{р}}$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{о}}} = \frac{9727 \cdot 10,4}{299} = 338,3 \text{ руб.}, \quad (23)$$

где  $Z_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня  $M=11,2$  месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней  $M=10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Месячный должностной оклад работника:

$$З_m = З_б \cdot (k_{np} + k_o) \cdot k_p = 7483 \cdot (0,5 + 0,5) \cdot 1,3 = 9727 \text{ руб.}, \quad (24)$$

где  $З_б$  – базовый оклад, руб.;

$k_{np}$  – премиальный коэффициент;

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок;

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 27.

Таблица 27 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$З_б$ , руб.	$k_{np}$	$k_d$	$k_p$	$З_m$ , руб.	$З_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$З_{осн}$ , руб.
Руководитель	17000	0,5	0,5	1,3	22100	768,7	52	39972,4
Разработчик	7483	0,5	0,5	1,3	9727	338,3	55	18606,5

Расчет затрат на электроэнергию:

$$E = E_{кв} \cdot N \cdot t = 5,8 \cdot 0,7 \cdot 336 = 1364,1 \text{ руб.}, \quad (25)$$

где  $E_{кв}$  – стоимость одного киловатта электроэнергии, руб.;

$E$  – стоимость одного киловатта электроэнергии, руб.;

$N = 0,7$  кВт – суммарная мощность потребления электроэнергии электрооборудованием;

$t$  – время затраченное на разработку проекта, час.



Расчет амортизации:

$$K = \frac{1}{n} \cdot 100\% = \frac{1}{12 \cdot 5} \cdot 100\% = 1,6\% , \quad (26)$$

где  $K$  – норма амортизации в процентах к первоначальной стоимости системы;  
 $n$  – срок полезного использования ноутбука в месяцах.

Годовая амортизация:

$$A_z = \frac{C_n}{5} = \frac{42500}{5} = 8500 \text{ руб.} , \quad (27)$$

где  $A_z$  – годовая амортизация, в руб.

$C_n$  – стоимость ноутбука, в руб.

Амортизация за время проекта:

$$A = \frac{A_z \cdot n}{12} = \frac{8500 \cdot 3}{12} = 2125 \text{ руб.} , \quad (28)$$

где  $A_z$  – годовая амортизация, в руб.;

$n$  – количество месяцев.

## 10.8 Реестр рисков проекта

Данный раздел необходим для идентифицирования рисков проекта – возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты. Информация, связанная с рисками данного проекта, занесена в таблицу 28.

Таблица 28 – Реестр рисков проекта

Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
Внезапный выход из строя	Нарушение работы всей системы	2	4	средний	Предусмотреть аварийное отключение питания	Быстрое возрастание потребляемого тока
Электромагнитное излучение	Пагубное влияние на живые организмы и находящуюся рядом электронику	2	3	средний	Сделать экранирование электронных частей установки	Искажение сигналов передаваемых от микроконтроллера к ПК и обратно
Сильный нагрев компонентов	Нестабильная работа компонента влечет за собой выход его из строя	2	4	средний	Подобрать элементы по мощностным характеристикам в два раза больше расчетных	Элементы сильно нагреваются, температура на них сильно повышается

Как видно из полученного реестра рисков для разработанной лабораторной системы индукционного нагрева существует триглавных и очень значащих риска. На данные риски было обращено большое внимание и были предложены способы смягчения и устранения данных рисков. Это позволило сохранить стабильную работоспособность данной системы.

## 10.9 Оценка сравнительной эффективности разрабатываемого проекта

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности разрабатываемого проекта. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности проекта получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}} = \frac{82707,7}{1500000} = 0,06, \quad (29)$$

где  $I_{\phi}^p$  - интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\max}$  – максимальная стоимость исполнения проекта.

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах, либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p \quad (30, 31)$$

где  $I_m$  – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;  $a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го параметра;

$b_i^a, b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы, пример которой приведен ниже в таблице 29.

Таблица 29 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критери \ ПО	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1
Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	4
Удобство в эксплуатации	0,15	4	2
Помехоустойчивость	0,15	3	3
Энергосбережение	0,20	3	3
Надежность	0,25	4	4
Материалоемкость	0,15	2	4
ИТОГО	1	16	16

$$I_{mn} = 5 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,25 + 2 \cdot 0,15 = 3,45;$$

$$\text{Аналог 1} = 4 \cdot 0,1 + 2 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 = 3,35.$$

Интегральный показатель эффективности разработки ( $I_{финр}^p$ ) и аналога ( $I_{финр}^a$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_\phi^p} = \frac{3,45}{0,06} = 57,5, \quad I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_\phi^a} = \frac{3,35}{0,06} = 55,83. \quad (31)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^a} = \frac{57,45}{55,83} = 1,03 \quad (32)$$

где  $\mathcal{E}_{cp}$  – сравнительная эффективность проекта;  $I_{m\mathcal{E}}^p$  – интегральный показатель разработки;  $I_{m\mathcal{E}}^a$  – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Все рассчитанные параметры занесены в таблицу 30.

Таблица 30 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Аналог	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,06
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,35	3,45
3	Интегральный показатель эффективности	55,83	57,45
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,03	

Из полученных расчетов видно, что разрабатываемый проект имеет небольшую эффективность по сравнению с существующим аналогом, близкого по характеристикам к данной лабораторной системе.

